

SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA TUNGKU BAKAR MENGGUNAKAN KONTROLER PID

Raditya Wiradhana, Pembimbing 1: M. Aziz Muslim, Pembimbing 2: Purwanto.

Abstrak — Pada saat ini masih banyak tungku bakar berbahan bakar gas yang dikendalikan secara manual. Misalnya pada *valve* tungku bakar yang masih diputar secara manual dengan melihat warna api pada *burner*. Hal ini memiliki resiko yang cukup tinggi, karena tungku bakar yang dikendalikan secara manual memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan tungku bakar yang dikendalikan secara otomatis.

Salah satu solusi dari hal tersebut yaitu menggunakan tungku bakar yang dapat dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan metode kontrol PID. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah memiliki respons yang halus dan cepat. Pada skripsi ini digunakan metode *hand tunning*. Dalam pembuatannya digunakan Arduino Uno Rev3, sensor suhu PT100, motor servo.

Dari hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID dengan menggunakan metode *hand tunning* ini didapatkan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0,15$, dan $K_d = 0$ yang menunjukkan bahwa respons sistem untuk pengendalian suhu sesuai trayek pembakaran mempunyai *error steady state* sebesar 0,6% - 3,6%. Sedangkan error waktu sebesar 0,26% - 3,95%. Dari pengujian juga didapatkan toleransi kesalahan sebesar 2% - 5%.

Kata kunci: Sensor PT100, Arduino Uno Rev3, motor servo, PID.

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan memberikan dampak positif pada perkembangan dunia elektronik khususnya di bidang sistem kontrol. Pada saat ini banyak teknologi yang sudah menggunakan alat kontrol otomatis. Hal tersebut disebabkan karena keinginan manusia untuk memenuhi kebutuhan dan mendapatkan fasilitas akan kemudahan dan efisiensi dalam berbagai bidang.

Aplikasi teknik elektro khususnya di bidang sistem kontrol dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari untuk menciptakan kemudahan dan fasilitas bagi manusia. Salah satunya adalah aplikasi teknik elektro yang diterapkan pada pembuatan tungku bakar berbahan bakar gas.

Pada saat ini masih banyak tungku bakar berbahan bakar gas yang dikendalikan secara manual. Misalnya pada *valve* tungku bakar yang masih diputar secara manual dengan melihat warna api pada *burner*. Hal ini tentunya memiliki resiko yang cukup tinggi, karena tungku bakar yang dikendalikan secara manual memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan tungku bakar yang dikendalikan secara otomatis.

Sehubungan dengan banyaknya tungku bakar berbahan bakar gas yang dikendalikan secara manual,

kami ingin memberikan suatu inovasi dengan merancang suatu tungku bakar berbahan bakar gas yang dapat dikendalikan secara otomatis. Pada penelitian ini, kami menerapkan sistem pengendalian suhu pada tungku bakar otomatis yang disesuaikan dengan trayek kenaikan suhu pada proses pembakaran keramik. Proses pembakaran keramik ini membutuhkan waktu 10 jam untuk mencapai suhu 1200 °C [1].

Dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu perancangan, pengujian dan keterbatasan suhu, maka hasil yang ingin kami capai hanya terbatas pada pengaturan suhu yang disesuaikan dengan trayektori kenaikan suhu pada tungku bakar keramik yang diskalakan lebih kecil. Pada penelitian ini diharapkan dapat merancang suatu sistem pengendalian suhu sesuai dengan trayek pembakaran yang diinginkan.

II. PERANCANGAN SISTEM

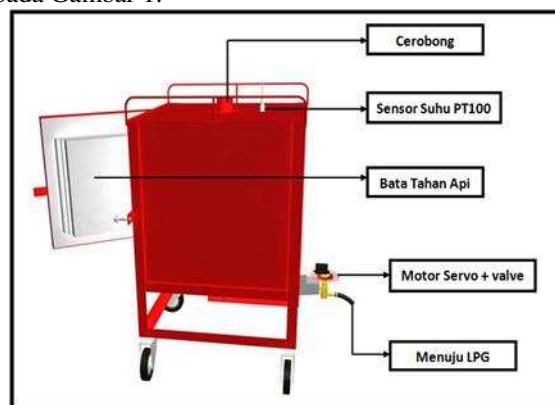
A. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang dirancang adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan miniatur tungku bakar dengan ukuran sebagai berikut:

Tinggi	: 50 cm
Lebar	: 50 cm
Panjang	: 50 cm
Volume ruang	: 2,7 liter
Bahan	: Plat besi dengan tebal 1.5 mm, bata tahan api.
2. Proses pembakaran tungku menggunakan sebuah *burner* (kompor) yang berbahan bakar gas elpiji dimana burner tersebut dilengkapi dengan sebuah *valve* yang diputar oleh motor servo untuk mengatur besar kecil nya api.
3. Sensor yang digunakan untuk memantau suhu di dalam tungku adalah sensor suhu PT100.
4. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID.
5. Menggunakan satu buah mikrokontroler Arduino Uno Rev3.
6. Software yang digunakan sebagai pemrograman yaitu Arduino IDE 1.0.5.

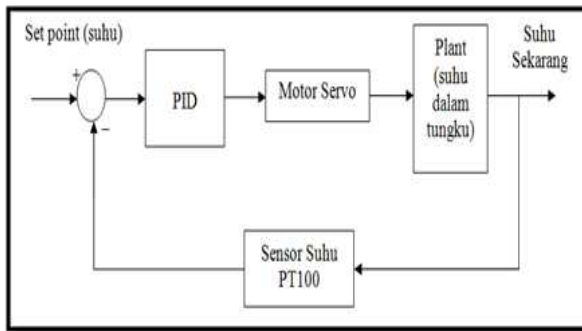
Perancangan perangkat keras tungku bakar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Perancangan Tungku Bakar

B. Blok Diagram Sistem

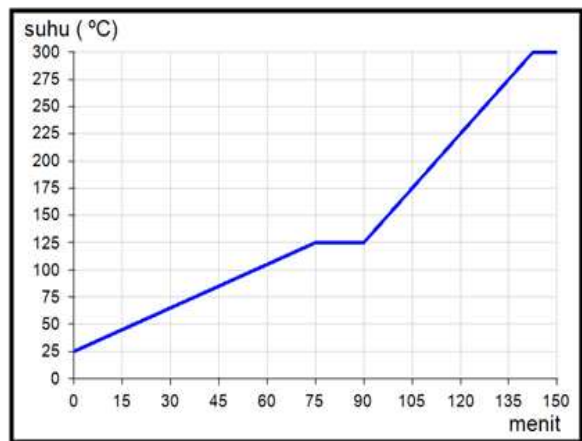
Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Blok Diagram Sistem

Keterangan dari blok diagram sistem diatas adalah sebagai berikut:

1. Sensor suhu berfungsi sebagai pendeteksi suhu dalam tungku saat itu. Jenis sensor suhu yang digunakan adalah PT100 yang dicatu tegangan sebesar 12 V.
2. Motor yang digunakan adalah motor servo GWServo S04 yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan *valve burner*.
3. Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Uno Rev3 yang memberikan keluaran berupa PWM kepada motor servo.
4. Perancangan alat berupa miniatur pada proses pembakaran keramik dengan memperkecil skala pembakaran sebesar 1:4 dengan skala asli. Grafik dengan skala perbandingan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Trayektori Suhu Pembakaran

C. Prinsip Kerja Alat

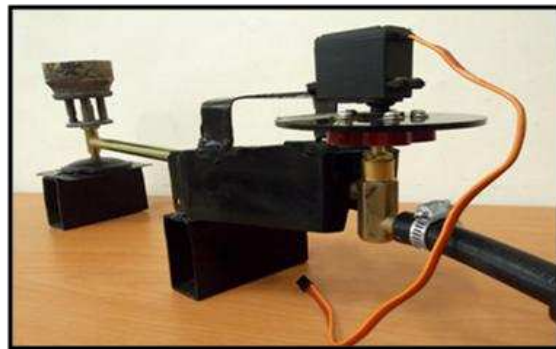
Cara kerja alat ini yaitu sebagai berikut:

1. Catu daya yang digunakan sebesar 12 volt.
2. PT100 sebagai sensor suhu di dalam tungku. Sensor PT100 akan memberikan keluaran berupa level tegangan yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan suhu.
3. Untuk memulai, kami menyesuaikan suhu awal sebesar 25 °C. Saat itu sensor PT100 akan mendeteksi suhu di dalam tungku kemudian memberikan sinyal kepada arduino untuk mulai memutar motor servo. Ketika motor servo berputar, maka *valve* akan terbuka dan gas mulai mengalir pada *burner* (kompor).

4. Dipicu pemantik api pada ujung *burner* (kompor), kemudian api mulai menyala dan terjadi proses pembakaran.
5. Tahap berikutnya yaitu *tracking* suhu yang disesuaikan dengan trayek pembakaran keramik yang dimulai dari suhu 27 °C sampai dengan 300 °C. Sensor mulai mendeteksi suhu di dalam tungku. Sensor PT100 bertindak sebagai input untuk arduino yang selanjutnya akan diolah oleh kontroler yang ada pada arduino. Kemudian arduino akan memberikan sinyal kepada motor servo untuk memutar sudut servo menjadi lebih besar. Di saat yang bersamaan, *valve* juga akan membuka lebih sehingga api yang dihasilkan semakin besar.
6. Saat suhu telah mencapai 300 °C kontroler akan memberi sinyal kepada motor servo untuk menutup *valve*.

D. Perancangan Motor Servo

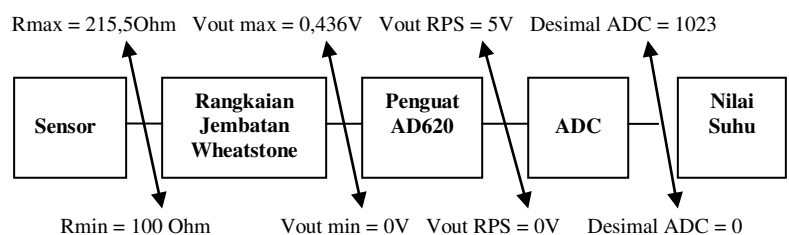
Burner pada tungku ini dilengkapi dengan sebuah valve yang akan diputar oleh Motor Servo untuk mengatur besar kecilnya api. Pemasangan motor servo ditunjukkan dalam Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Pemasangan Motor Servo

E. Perancangan Sensor Suhu PT100

PT 100 adalah sensor suhu yang mengindera perubahan suhu dengan cara mengubah pula besar resistansinya sesuai dengan Persamaan (1). Karena itu dibutuhkan suatu rangkaian untuk mengubah besar resistansi PT 100 ke dalam suatu tegangan tertentu. Hal ini dilakukan agar perubahan suhu yang dideteksi oleh PT 100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan wheatstone [2]. Diagram blok perancangan sensor suhu PT100 ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Blok Sensor Suhu PT100

Sesuai dengan datasheet diketahui dua karakteristik PT 100 yaitu persamaan perubahan resistansi PT 100 terhadap perubahan suhu [3]:

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \dots\dots\dots(1)$$

Selain itu PT 100 mampu mengukur suhu dari 0 °C hingga 300 °C. Dari kedua keadaan batas tersebut didapatkan *range* resistansi PT 100 adalah 100 ohm hingga 215.5 ohm.

Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan pada jembatan wheatstone didapatkan nilai VB selalu tetap yaitu 0.45 V dan nilai maksimal VA yaitu 0.886 V maka didapatkan *range* ΔV yaitu VA dikurangi VB adalah 0 – 0.436 V.

Setelah perubahan resistansi pada PT 100 dapat diubah menjadi perubahan tegangan pada *range* 0 – 0.436 V, maka dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah besar level tegangan 0 – 0.436 V menjadi 0 – 4.9951 V. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi 5V menerima *range* tegangan yaitu sebesar 0 – 4.9951 V. Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat instrumentasi.

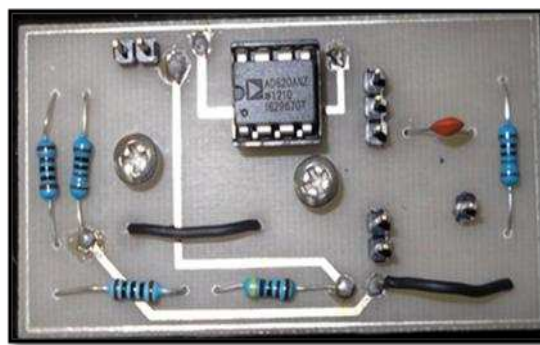
Rangkaian penguat instrumentasi adalah rangkaian penguat diferensial yang ditambahkan *buffer* untuk memperbesar impedansi penguat dimana hal ini adalah salah satu syarat sebuah penguat dapat dikatakan baik. Penguat instrumentasi yang digunakan pada perancangan ini adalah penguat AD 620.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (2) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 [4]. Dari perhitungan nilai R_g didapatkan hasil yaitu $R_g = 4766.081742 \Omega$. Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 4700 Ω menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran.

Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen yang terdiri dari R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723.7985 Hz.

Setelah sinyal pada sensor suhu dikondisikan sesuai syarat dan ketentuan ADC *internal* mikrokontroler, maka sinyal tersebut dimasukkan pada bagian *port analog* atau *port* ADC mikrokontroler Atmega 328 untuk dicacah menjadi suatu sinyal digital. Hasil cacahan tersebut menunjukkan besar resolusi suhu yang dapat diukur adalah 0.26 °C. Modul rangkaian pengkondisi sinyal PT100 ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Modul Rangkaian Pengkondisi Sinyal PT100

F. Perancangan Kontroler PID

Kontroler PID dapat di *tuning* dalam beberapa cara, antara lain Ziegler-Nichols *tuning*, *loop tuning*, metode analitis, optimisasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning* [5]. Pada perancangan kontroler PID sistem pengendalian suhu ini, menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d .

Proses *tuning* parameter PID ini dilakukan dengan cara mengatur nilai K_p hingga didapatkan respon sistem yang mendekati *setpoint* 200 °C. Hasil *tuning* nilai K_p ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil *Tuning* Nilai K_p dengan *Setpoint* 200 °C

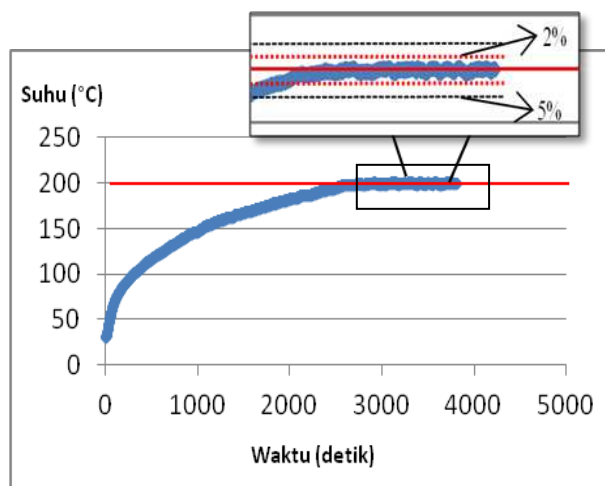
K_p	Offset (%)
0.6	43.72
0.8	11.09
1	7.21

Dari hasil perancangan tersebut, didapatkan nilai $K_p = 1$ yang memiliki nilai *offset* paling kecil yaitu 7.21 %. Setelah diperoleh nilai K_p yang cukup baik, berikutnya mencari nilai K_i dengan menggunakan nilai $K_p = 1$ dan *setpoint* tetap yaitu 200 °C. Hasil *tuning* parameter K_i ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil *Tuning* Nilai K_i dengan *Setpoint* 200 °C

K_p	K_i	T_s (detik)	T_r (detik)	T_d (detik)
1	0.11	3662	2359	1179
1	0.13	3512	2896	1448
1	0.15	2540	1898	949

Dari hasil pencarian parameter kontroler diperoleh nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0.15$. Dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0.15$ didapatkan respon yang baik dengan toleransi kesalahan di bawah 2% dan tidak terjadi overshoot. Karena respon cukup baik, maka tidak memerlukan penggunaan nilai K_d atau nilai K_d dianggap = 0. Hasil respon nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0.15$ ditunjukkan pada Gambar 7.



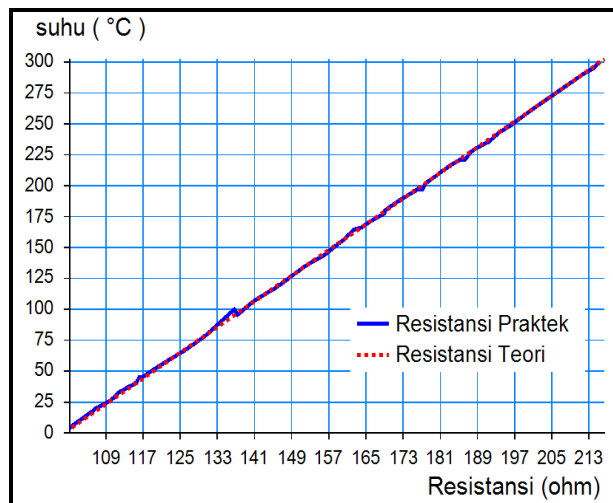
Gambar 7 Hasil Respons dengan $K_p=1$, $K_i=0,15$, Setpoint $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

III. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk melihat bagaimana penyimpangan yang dilakukan sensor suhu dalam beberapa kali pengukuran. Selain itu juga dilakukan uji t untuk mengetahui apakah resistansi yang dikeluarkan PT100 sesuai dengan datasheet. Pada uji t diambil data hasil pengukuran resistansi tiap kenaikan suhu 10°C .

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan antara resistansi dengan suhu seperti pada gambar 8 berikut.



Gambar 8 Grafik Hubungan antara Resistansi dengan Suhu

Pengambilan data uji-t ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4 Pengambilan Data Resistansi

Suhu	Data sheet	Nilai Resistansi									
		Pengukuran ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	101,17	102,3	101,15	101	100,93	100,72	101,15	101,3	101,42	101,34	101,42
10	105,07	106,51	105,78	104,95	104,85	104,75	104,95	104,85	104,57	104,78	104,85
20	108,96	109,94	109,42	109,63	109,11	109	108,9	108,9	108,69	108,17	108,7
30	112,83	113,72	112,67	112,9	113,19	113,3	111,09	113,19	112,56	113,4	113,3
40	116,7	116,88	116,87	116,99	117,2	116,25	117,31	117,41	117,1	117,31	116,36
50	120,55	121,56	120,71	120,12	120,6	120,71	121,24	120,92	120,92	121,24	120,07
60	124,39	124,99	124,99	123,87	124,77	125,09	126,42	124,99	124,56	124,45	124,32
70	128,22	128,76	128,33	128,87	128,43	128,33	130,16	129,41	127,68	127,14	125,2
80	132,04	127,57	131,9	133,1	129,73	132,12	131,9	132,66	132,12	132,77	132,66
90	135,84	136,92	136,81	134,95	131,47	137,25	134,08	135,83	136,61	135,83	136,27
100	139,64	140,89	140	141	140,89	140,77	140,22	139,34	139,67	138,69	140
110	143,42	141,33	143,54	144,43	144,1	143,87	144	144,43	144,43	143,99	143,32
120	147,19	147,7	148,44	146,1	146,88	148,33	147,21	147,55	147,55	147,33	148,56
130	150,95	152,26	151,36	152,15	151,25	151,02	151,02	149,99	149,45	151,14	151,25
140	154,7	155,08	154,74	154,63	154,97	154,63	155,33	155,65	155,08	155,08	152,94
150	158,43	158,83	159,06	158,83	158,38	157,98	159,86	159,29	158,6	158,26	157,44
160	162,16	161,8	162,03	163,61	162,03	163,06	161	162,83	163,29	163,98	161,57
170	165,87	166,17	165,4	165,94	167,32	166,63	165,59	166,28	166,4	165,02	165,48
180	169,57	170,45	169,41	169,53	168,83	168,48	169,19	168,83	170,11	168,25	169,18
190	173,26	174,65	173,72	173,22	173,83	173,6	173,37	173,6	172,9	173,2	173,37
200	176,94	175,47	176,88	176,12	177,47	177,23	177,01	177,18	176,2	176,9	177,2
210	180,61	180,3	180,77	180,89	181,48	181,25	180,06	180,3	180,2	180,13	180,64
220	184,26	186,24	185,28	183,26	184,57	185,64	183,38	184,09	183,62	184,12	184,08
230	187,91	188,15	187,43	187,67	186,98	187,67	188,1	188,3	188,35	188,4	188,41
240	191,54	191,03	192,24	192,72	191,64	191,1	191,15	190,9	191,98	191,45	191,3
250	195,16	195,62	196,72	195,45	195,25	195,67	196,01	196,11	195	194,67	194,68
260	198,77	197,81	199,03	196,84	198,79	198,65	198,98	198,77	198,99	199,5	199,67
270	202,36	202,95	201,3	202,56	202,45	202,35	202,1	202,56	202,66	202,78	202,72
280	205,95	205,9	206,64	203,93	206,89	206,1	206,12	205,13	206,34	206,23	206,33
290	209,52	210,61	209,78	209,86	210,73	208,87	210,36	210,61	209,17	209,61	209,49
300	213,09	212,22	213,47	213,35	213,9	214,47	215,85	214,47	213,11	213,35	213,44

Setelah melakukan pengukuran resistansi sebanyak 10 kali, dilakukan uji t dengan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

\bar{x} = rata – rata tiap resistansi

μ = Resistansi pada data sheet

s = standart deviasi

n = jumlah pengambilan data

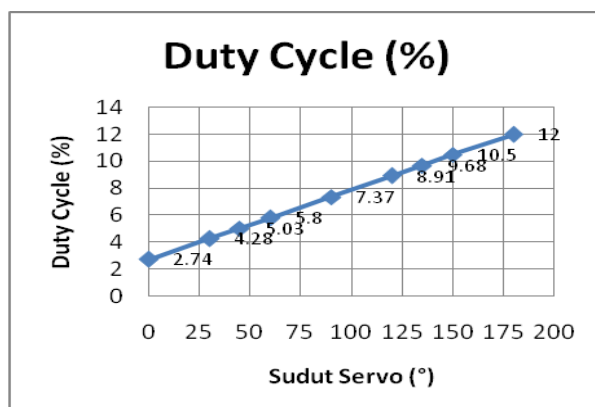
Tabel 5 Hasil Uji T Sensor Suhu PT100

Suhu (°C)	Nilai rata-rata (x)	Standar deviasi (s)	Jumlah pengambilan data (n)	T hitung	T tabel
0	101,273	0,425755538	10	0,765027276	2,262157
10	105,084	0,595001401	10	0,074406358	2,262157
20	109,046	0,510211285	10	0,533025997	2,262157
30	112,932	0,733708995	10	0,439618873	2,262157
40	116,968	0,394906459	10	2,146053564	2,262157
50	120,809	0,476595566	10	1,718500911	2,262157
60	124,845	0,672710108	10	2,138865343	2,262157
70	128,231	1,35561753	10	0,025659932	2,262157
80	131,653	1,709340679	10	-0,715949412	2,262157
90	135,602	1,741441293	10	-0,432183437	2,262157
100	140,147	0,765216745	10	2,095190395	2,262157
110	143,744	0,926717025	10	1,105599589	2,262157
120	147,565	0,756912589	10	1,566698904	2,262157
130	150,689	1,817216736	10	-0,454186038	2,262157
140	154,813	0,729292656	10	0,489978026	2,262157
150	158,653	0,686942501	10	1,026560326	2,262157
160	162,52	0,972499643	10	1,170612211	2,262157
170	166,023	0,680180532	10	0,711323626	2,262157
180	169,226	0,685730754	10	-1,586371195	2,262157
190	173,546	0,476193238	10	1,899252947	2,262157
200	176,766	0,630558835	10	-0,872616927	2,262157
210	180,602	0,490346816	10	-0,051592506	2,262157
220	184,428	0,996881805	10	0,532924409	2,262157
230	187,946	0,48614584	10	0,234172519	2,262157
240	191,551	0,593098268	10	0,058649732	2,262157
250	195,518	0,652938656	10	1,733846498	2,262157
260	198,703	0,824581375	10	-0,256945657	2,262157
270	202,443	0,466024558	10	0,563208615	2,262157
280	205,961	0,852453322	10	0,040805817	2,262157
290	209,909	0,647206819	10	1,900669112	2,262157
300	213,763	0,983904354	10	2,163028202	2,262157

Untuk mengetahui apakah nilai resistansi sesuai dengan datasheet, dapat dilihat pada tabel nilai t hitung. Jika nilai t hitung \leq t tabel (dari sumbu x positif – sumbu x negatif) maka dapat dikatakan pembacaan dari resistansi sensor sudah akurat dan sebaliknya. Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pembacaan resistansi dari sensor PT100 cukup baik karena nilai t hitung berada di kisaran angka -2.262157 sampai 2.262157.

B. Pengujian Motor Servo

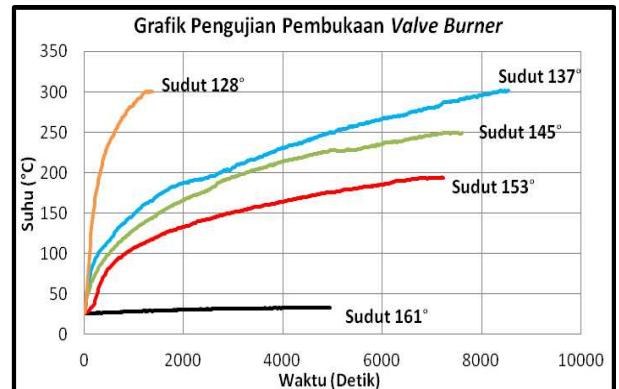
Pengujian motor servo ini bertujuan untuk mengetahui *duty cycle* dari motor servo untuk memutar *valve burner*. Grafik pengujian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8 Grafik Duty Cycle Motor Servo

C. Pengujian Kenaikan Suhu Terhadap Pembukaan Valve Burner

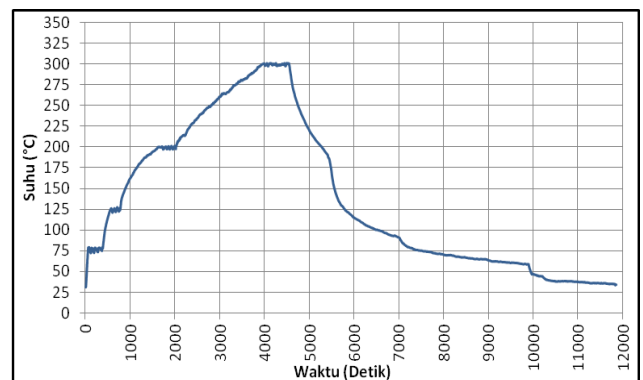
Pengujian ini bertujuan untuk melihat suhu maksimal yang dicapai ketika *valve* dibuka dengan sudut yang ditentukan. Grafik hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9 Hasil Pengujian Suhu Terhadap Pembukaan Valve Burner

D. Pengujian dengan Setpoint Berbeda

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana bentuk respon ketika diberi setpoint berbeda dengan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.15$ dan $K_d = 0$. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 9 Hasil Pengujian Suhu dengan Setpoint Berbeda

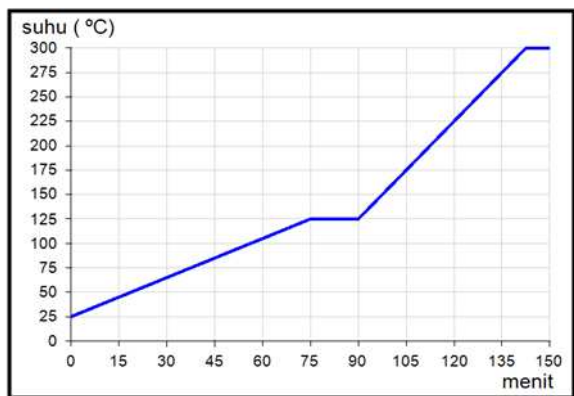
Dari grafik tersebut diperoleh *error steady state* (ESS) yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Uji T Sensor Suhu PT100

Setpoint (°C)	T steady (°C)	ESS (%)
75	75.88426	1.179
125	123.8817	0.894
200	199.3246	0.337
300	299.6661	0.111

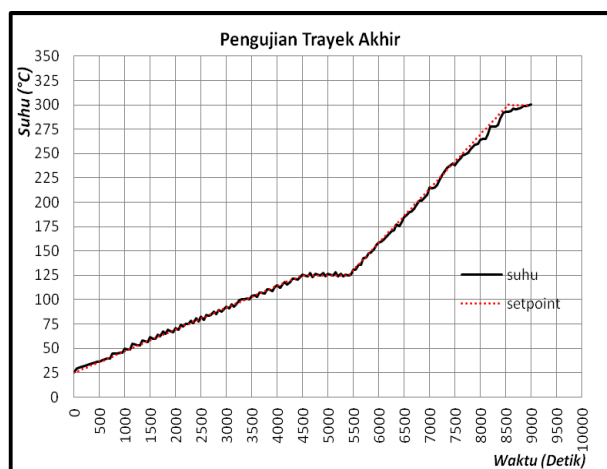
E. Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler ketika mengikuti trayek pembakaran yang telah ditentukan seperti pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Trayek Pembakaran yang Ditentukan

Hasil dari pengujian keseluruhan ini ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10 Hasil Pengujian Trayek Pembakaran yang Ditentukan

Dari grafik di atas, diketahui bahwa hasil respon memiliki nilai % error sebagai berikut.

$$\% \text{ Error} = \frac{|T_c - T_x|}{T_x} \times 100\%$$

Keterangan : T_c = Suhu yang dicapai
 T_x = Setpoint

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan error sebesar 1.877 % dan sistem dapat dikatakan berhasil untuk mengikuti trayek pembakaran yang telah ditentukan.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1). Berdasarkan data respons sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode *hand tuning*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 1$, $K_i = 0.15$, dan $K_d = 0$ dan toleransi error sebesar 2% – 5%.
- 2). Hasil pengujian terhadap kontroler PID berbasis arduino ini menunjukkan bahwa respons sistem untuk kenaikan suhu dengan acuan trayek pembakaran yang

telah ditentukan mempunyai rata – rata error sebesar 1.877 %. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kontroler PID berbasis arduino menghasilkan respons sesuai yang direncanakan dan dapat diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu untuk mencapai trayek pembakaran yang diinginkan.

B. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Disarankan untuk menggunakan lebih dari 1 sensor suhu agar pembacaan suhu lebih presisi.
2. Disarankan melakukan pengontrolan saat proses pendinginan menggunakan kipas angin agar tungku lebih cepat mencapai suhu kamar setelah dipergunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hartono, Antom J. 2006. *Mengenal Keramik modern*. Malang: Andi Offset Yogyakarta
- [2] Hoffmann, K. (n.d.). *Applying the Wheatstone Bridge Circuit*. www.h m.com.pl/pdf/w16.pdf .
- [3] *Datasheet sensor suhu PT100*.
- [4] *Datasheet AD620*.
- [5] Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995 *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.